Temat: ***Okres drgań oscylatora harmonicznego.***

Podstawowym elementem lekcji jest ćwiczenie uczniowskie. Ma ono na celu sprawdzenie, czy okres drgań ciężarka zawieszonego na gumie spełnia teoretyczną zależność

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Przebieg lekcji

Przypominamy podstawowe wiadomości o ruchu harmonicznym. Formułujemy problem: .Jakie wielkości mogą mieć wpływ na okres drgań oscylatora harmonicznego?"

Na podstawie poznanej na poprzednich lekcjach teorii uczniowie mogą otrzymać zależność na okres drgań oscylatora harmonicznego.

Uczniowie wiedzą że:

$$x = X_0 \sin\omega t$$
$$F = -kx$$
$$a = -\omega^2 x$$
$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Na tej podstawie prowadzą rozumowanie:

$$F = ma, \qquad F = -m\omega^2 x$$
$$-kx = -m\omega^2 x$$
$$k = m\omega^2$$
$$\omega^2 = \frac{k}{m}, \text{stąd } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Okres **drgań** oscylatora **zależy od dwóch wielkości: masy oscylatora oraz stałej *k*.**

Mówiliśmy, że przykładem ruchu harmonicznego może być ruch ciężarka zawieszonego na sprężynie lub gumce. W jaki sposób moglibyśmy sprawdzić, czy dla ciężarka zawieszonego na gumie zależność ta jest spełniona?

Uczniowie planują doświadczenie.

Przyrządy potrzebne do wykonania doświadczenia: gumka (krawiecka, modelarska, itp.), obciążniki, stoper lub zegarek z sekundnikiem, statyw.

Jeżeli mamy w pracowni przyrząd do składania sił, to szalki i odważniki z tego kompletu bardzo dobrze nadają się do doświadczenia. Jeżeli w pracowni brakuje obciążników, uczniowie mogą przymocować do gumki „wiaderko" zrobione z puszki po napoju.

Takie puszki są lekkie, łatwo dostępne, można je przyciąć. Uczniowie mogą wlewać do wiaderka jednakowe miarki wody i zapisywać: l miarka, 2, 3... Doświadczenie będzie przebiegało w dwóch etapach:

1) przy ustalonym **k** będziemy zmieniać masę ciężarka,
2) przy ustalonym **m** będziemy zmieniać **k**.

Jak, mając do dyspozycji jedną gumę, mieć różne **k**? Można połowę gumy uważać za podstawową długość. W połowie zrobić pętelkę. Jeżeli przyjmiemy, że połowa gumy ma stałą $\mathbf{k_1}$, to stała całej gumy będzie równa $\mathbf{k_1/2}$, a jeżeli użyjemy całej gumy złożonej na pół (dwie połówki połączone równolegle), to stała **k** takiego układu jest równa **2k**,. Jeżeli uczniowie rozumieją sens fizyczny stałej **k**, to te stwierdzenia będą dla nich oczywiste.

Zwracamy uwagę na trudności w dokonywaniu pomiaru jednego okresu. Jak zwiększyć dokładność pomiaru? Najprościej jest zmierzyć czas 10 drgań i następnie wyliczyć okres.

Uczniowie planują tabele pomiarów.

Tabela 1. Badanie zależności okresu drgań od masy (przy stałej wartości **k**)

Lp	m [kg]	n	Δt [s]	T=Δt/n [s]	T^2 [s^2]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Należy wykonać przynajmniej osiem pomiarów.

Tabela 2. Badanie zależności okresu drgań od współczynnika k (przy stałej masie)

Lp.	k [N/m]	n	Δt [s]	T=Δt/n [s]	T^2 [s^2]
1	k_1				
2	$k_1/2$				
3	$2k_1$				

Opracowanie wyników pomiarów:

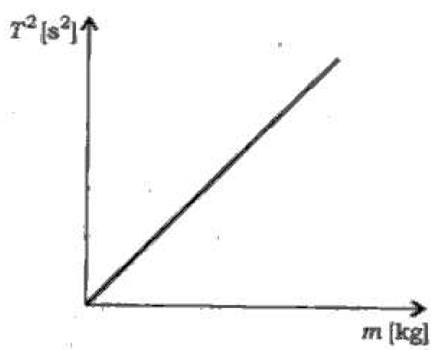
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T^2 = 4\pi^2\frac{m}{k}$$

W doświadczeniu 1. $4\pi^2/k$ = const, czyli mamy $T^2 = Cm$

Najlepiej wyniki opracować graficznie.

Uczniowie nanoszą wyniki pomiarów na układ współrzędnych. Jeżeli przez punku pomiarowe można poprowadzić prostą, to otrzymują potwierdzenie zależności teoretycznej okresu od masy.



Zwracamy uwagę na zaznaczenie na wykresie niepewności pomiarów. Dla każdej wartości T^2 należy wyznaczyć błąd bezwzględny pomiaru.

Na wstępie uczniowie liczą błąd względny $\frac{\Delta(T^2)}{T^2} = 2\frac{\Delta T}{T}$, pamiętając, że $\Delta T = \frac{\Delta(\Delta t)}{n}$

Następnie, znając błąd względny, uczniowie liczą błąd bezwzględny.

Uczniowie mogą obliczać błąd inną metodą $\Delta T^2 = \frac{(T+\Delta T)^2-(T-\Delta T)^2}{2}$

Zaznaczają na wykresie niepewności pomiarowe. Jeżeli używane były miarki wody, to można zrobić wykres w układzie, który na osi poziomej zamiast *m* będzie miał ilość miarek.

W doświadczeniu 2 pomiarów jest zbyt mało, aby robić wykres, a wiec należy inaczej przeanalizować wyniki. Można sprawdzić, czy stosunki są w przybliżeniu równe:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} \approx \frac{1}{2} \qquad \frac{T_1^2}{T_3^2} \approx 2 \qquad \frac{T_2}{T_3} \approx 2$$

Można oszacować przedziały metodą najmniej korzystnego przypadku, np.

$$\frac{T_2}{T_3} \in \left\{\frac{T_2 - \Delta T}{T_3 + \Delta T}; \frac{T_2 + \Delta T}{T_3 - \Delta T}\right\}$$

Opracowanie wyników może być zadaniem domowym. Uczniowie mogą użyć komputera. Praca domowa może być przedstawiona w postaci sprawozdania z doświadczenia. Jeżeli nauczyciel woli, może to doświadczenie potraktować jako domowe ćwiczenie uczniowskie. Proponujemy jednak na lekcji omówić, jak mają wyglądać tabele pomiarów i sposób opracowania wyników.

Rezonans

Temat bez końca. Z doświadczenia wiemy, że lubiany przez uczniów. Proponujemy, oprócz pokazu koralików opisanych w podręczniku, wykonanie kilku innych prostych doświadczeń.

W płaskich szczypcach (obcęgach) przytrzymujemy wyjęty ze zużytej wycieraczki samochodowej około 30-centymelrowy metalowy pasek sprężynujący. Jedną jego część pobudzamy do drgań (jak to czasem robią z brzeszczotem piłki do metalu ujętej w imadło) i obserwujemy tę część niepobudzoną. Nie drga, chyba że ściśniemy ten pasek w połowie.

Znane szkolne doświadczenie z rezonansem słupa powietrza w rurach szklanych zamkniętych powierzchnią wody możemy pokazać, wykorzystując (jednorazowo!) rurkę kartonową po ręcznikach papierowych zanurzoną w litrowym słoiku z wodą i zamiast widełek stroikowych używając widelca srebrnego lub stalowego (antyki są lepsze od nowoczesnych sztućców).

Jeśli jest w pracowni tzw. monochord, to demonstracja, polegająca na zrzuceniu śpiewaniem papierowego „konika" ze struny zaciekawi nawet najoporniejszych, a zawsze znajdzie się w klasie ktoś, kto potrafi śpiewać. W połowie struny wiesza się papierową karteczkę zgiętą w kształt odwróconej litery V i staramy się albo za pomocą generatora akustycznego z głośnikiem przez odpowiednie dobranie częstotliwości zrzucić papierek ze struny, albo zrobić to samo - śpiewając. Jeśli nie ma monochordu, ktoś może przynieść gitarę albo skrzypce.

Kamertony rezonansowe są w każdej prawie szkole. Można pokazać tradycyjnie, że gdy pobudzimy jeden z nich, drugi zacznie grać. Ale można też przy drugim postawić statyw, zawiesić kulkę stalową (wahadełko) tak, by ledwo dotykała ramienia kamertonu. Gdy pobudzimy ten wolno stojący, możemy podziwiać, jak silny impuls można przekazać kulce. Doświadczenie udaje się równie dobrze z piłeczką pingpongową, a jeszcze efektowniej z bombką choinkową.

Jeśli wystarcza czasu na dyskusję, można uzupełnić dość bogaty materiał podręcznikowy dotyczący tego ważnego zjawiska, jakim jest rezonans. Oto kilka propozycji: gra na kieliszkach, budowa częstościomierzy, strojenie instrumentów, budowa instrumentów muzycznych.

Notabene mury Jerycha musiały mieć częstość drgań własnych bliską tej, jaką miary dźwięki ówczesnych trąb, bo *„...gdy 7 kapłanów siedmioma trąbami zatrąbiło 7 razy, mury upadły i Jozue zdobył miasto..."* (W. Kopaliński, *Słownik mitów i tradycji kultury,* PIW 1985; *wg Biblii*, *Księga Jozuego).*

Których z wymienionych sytuacji mógłbyś użyć dla ilustracji zjawiska rezonansu?

A)Różne części membrany w ślimaku (część ucha wewnętrznego) drgać mogą z rożnymi częstotliwościami:

B)W kolumnie głośnikowej mamy kilka głośników, każdy innej wielkości;
C)Kiedy pobudzimy do drgań widełki stroikowe, to po chwili stojący obok taki sam kamerton zacznie „grać";
D)Jak mój sąsiad włączy aparaturę grającą na cały regulator, to u mnie szyby w oknach się trzęsą;
E)Kiedy artylerzysta odpala armatę, otwiera usta, by huk nie uszkodził błony bębenkowej.

Tylko odpowiedź *E* nie ma bezpośrednio związku z rezonansem. Tu chodzi raczej o falę uderzeniową, która, atakując z jednej strony, mogłaby nie tylko uszkodzić błonę bębenkową, ale też dokonać zmian w uchu wewnętrznym.

Na wykresie pokazano, jak zależą od siebie: natężenie prądu zmiennego (I) wzbudzanego w obwodzie i częstotliwość f, z jaką ten prąd jest wzbudzany. Zaznaczono też na nim częstotliwość rezonansową f_R. *Rysownik, niestety, zapomniał nanieść te trzy wielkości na wykres. Pomożesz?*

Odpowiedź	Oś pozioma	Oś pionowa	Punkt
A	I	f_R	f
B	f	I	f_R
C	f_R	f	I
D	f	f_R	I

Odpowiedź B jest prawidłowa.

Odbiór sygnałów przez nasze radio czy TV polega na tym, że bardzo słabe impulsy, ale powtarzane z określoną częstotliwością, są wzmacniane bardziej, niż te o innych częstotliwościach. Na wykresie pokazana jest krzywa rezonansowa, z której odczytać można, że wzmacniane są tylko impulsy w wąskim zakresie częstotliwości, inne są „niezauważone".

Zdarzyło się, że w czasie próby uruchamiania silnika, zamontowanego do nowego samochodu, pękała jedna z szyb. Sporządź krótką notatkę, w której zasugerujesz konstruktorowi, w jaki sposób powinien sprawdzić, czy przypadkiem przyczyny nie należy szukać w zjawisku rezonansu.

Szyba, jak każdy sprężysty obiekt, może być wprawiona w ruch drgający. W czasie wojny pękały szyby w oknach nie od huku samolotów, jak mówiono, ale od fali akustycznej, źródłem której były silniki samolotów. Jeśli częstotliwość drgań własnych obiektu jest taka sama jak częstotliwość fali pobudzającej, to obiekt może być „rozhuśtany" poza granice wytrzymałości. Tak pewnie było z tą szybą. Trzeba inaczej ją umocować, może nawet zmienić kształt lub materiał, z jakiego jest zbudowana, tak, aby częstotliwość własna szyby nie mieściła się w możliwym zakresie częstotliwości drgań silnika.

Na środku każdej struny gitary leżącej na stole zawieszono lekki pasek z papieru, załamany w kształt odwróconej litery V. Ktoś zasugerował, że można zdalnie (nie dotykając gitary) strącić jeden z tych papierków, posługując się tylko kieliszkiem do szampana i wodą. Zaproponuj sposób postępowania. Jeśli masz w domu gitarę, skrzypce lub mandolinę, koniecznie sprawdź, czy twój pomysł był dobry.

Na początku tego paragrafu wyjaśniliśmy szczegółowo sposób postępowania. Tutaj zamiast śpiewu czy głośnika mamy odpowiednio dostrojony kieliszek.